МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ
MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE

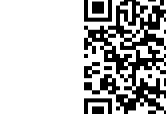






УДК 621.224
https://doi.org/10.23947/2687-1653-2022-22-2-142-149

Научная статья



Преобразование энергии гидравлического сопротивления системы в электричество

А. А. Саакян[1] ✉, **Д. А. Бутко**[2]
[1]Национальный университет архитектуры и строительства Армении, Республика Армения, г. Ереван, ул. Теряна, 105, корп. 2
[2]Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
✉ sahakyan.aram@nuaca.am

Аннотация
Введение. Рассматривается гравитационный водовод с регулирующей задвижкой и регулятором давления в трубе самотечного водоснабжения в условиях, когда не нарушен гидравлический режим водопровода. Применительно к такой системе исследуются проблемы преобразования энергии местного искусственного гидравлического сопротивления в электричество.
Материалы и методы. Изучена литература, в которой освещается возможность использования микротурбин для выработки электроэнергии в системах водоснабжения. Даны фактические значения, зафиксированные устройством непрерывной регистрации давления (логгер) в течение 12 часов, а также расход воды турбиной на данном участке узла (средний показатель в течение года) и перепад давления. Отмечено, что применение малых гидроэлектростанций в системах подачи воды значительно снижает стоимость их эксплуатации. Приведены показатели расхода воды в гидротурбинном агрегате в течение года с разбивкой по месяцам. Рассчитана максимальная мощность у входа турбины. Описаны принципы выбора типа гидротурбины. Указаны средние значения КПД для разных элементов гидротурбинной установки, усредненные параметры мощности МГЭС и соответствующие им показатели среднемесячной выработки электроэнергии.
Результаты исследования. Оснащение исследуемых узлов специально разработанными турбинами позволит получить электрическую энергию, преобразуя искусственно созданную местным сопротивлением и погашенную механическую энергию. Подходы, описанные в данной статье, можно использовать при замене агрегатов регулирования давления системы водопроводной сети Еревана. Спрогнозированы производительность МГЭС, сроки ее строительства и эксплуатации — 2 года и 30 лет соответственно. Предварительно рассчитаны затраты на сооружение и обслуживание. Приведены предполагаемые данные о доходах, расходах и чистой прибыли. Указано, что потенциально она будет близка к 6 млн драмов в год. Анализ данных позволил сделать вывод, что внутренняя норма доходности окажется на уровне 10,4 %, а срок окупаемости — 9 лет.
Обсуждение и заключения. Рекомендуется заменить регулятор гидротурбиной с таким же гидравлическим сопротивлением и функцией автоматической регулировки расхода воды в системе. Выводы подтверждаются энергетическими и экономическими показателями гидротурбинной установки, расположенной на участке магистрального водовода «Арзакан — Ереван».

Ключевые слова: гидравлическое сопротивление, энергия, гидротурбина, корректирующее устройство, водопровод, индикатор энергоэффективности, возобновляемые источники энергии, управление давлением, экспертные системы.

Благодарности: авторы выражают благодарность рецензентам, чья критическая оценка представленных материалов и высказанные предложения по их совершенствованию способствовали значительному повышению качества настоящей статьи.

Для цитирования: Саакян, А. А. Преобразование энергии гидравлического сопротивления системы в электричество / А. А. Саакян, Д. А. Бутко // Advanced Engineering Research. — 2022. — Т. 22, № 2. — С. 142–149. https://doi.org/10.23947/2687-1653-2022-22-2-142-149

Original article

Converting Hydraulic Resistance Energy of the System into Electricity

Aram A. Sahakyan [1] ✉, **Denis A. Butko** [2]
[1] National University of Architecture and Construction of Armenia, 105, Teryan St., Yerevan, Republic of Armenia
[2] Don State Technical University, 1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, Russian Federation
✉ sahakyan.aram@nuaca.am

Abstract
Introduction. A gravity conduit with a control valve and a pressure regulator in the gravity water-supply pipe is considered under conditions when the hydraulic regime of the water-supply system is not disturbed. In relation to such a system, the problems of converting the energy of local artificial hydraulic resistance into electricity are investigated.
Materials and Methods. Literature that highlights the possibility of using microturbines for power generation in water systems was studied. The actual values noted by the continuous pressure recorder (logger) for 12 hours were presented, as well as the water consumption by the turbine at a given unit section (the average for a year), and the pressure differential. It was noted that the use of small hydroelectric power plants in water supply systems significantly reduced the cost of their operation. The indicators of water consumption in the hydroturbine unit during the year, broken down by months, were given. The maximum power at the turbine inlet was calculated. The principles of selecting the type of hydraulic turbine were described. The average efficiency values for different elements of the hydroturbine plant, the average parameters of the power of the small hydro and the corresponding indicators of the average monthly electricity generation were indicated.
Results. Equipping the units under study with specially designed turbines can enable to obtain electrical energy through converting artificially created by local resistance and extinguished mechanical energy. It is possible to apply the approaches described in this article when replacing many of the pressure control units of the Yerevan City Network system. The productivity of a small hydro power plant was predicted, as well as the terms of its construction and operation — for 2 years and 30 years, respectively. The construction and maintenance costs were calculated in advance. The expected data on income, expenses, and net profit are given. It is indicated that it will potentially be close to 6 million drams per year. The analysis of the data allowed us to conclude that the internal rate of return will be at the level of 10.4%, and the payback period is 9 years.
Discussion and Conclusions. We recommend replacing the regulator with a hydroturbine having the same hydraulic resistance and automatic flow control in the system. The conclusions were confirmed by the energy and economic indicators of the hydroturbine plant located on the section of the Arzakan — Yerevan main water pipeline.

Keywords: hydraulic resistance, energy, hydroturbine, adjuster, water supply, energy efficiency indicator, renewable energy sources, pressure control, expert systems.

Funding information: the authors would like to thank the reviewers, whose critical evaluation of the submissions and suggestions for improvement contributed significantly to the quality of this article.

For citation: A. A. Sahakyan, D. A. Butko. Converting Hydraulic Resistance Energy of the System into Electricity. Advanced Engineering Research, 2022, vol. 22, no. 2, pp. 142–149. https://doi.org/10.23947/2687-1653-2022-22-2-142-149

Введение. Традиционные невозобновляемые первичные источники энергии, ресурсы которых весьма ограничены, продолжают играть доминирующую роль в экономике Армении. Активное использование ископаемых источников энергии обусловило такие экологические проблемы, как загрязнение воздуха и почвы, дефицит воды и деградация экосистем. Следует учитывать рост численности населения, непрерывное бытовое и промышленное потребление энергии. Все это позволяет утверждать, что дальнейшее количественное (экстенсивное) развитие энергетической отрасли нецелесообразно. Использование возобновляемых источников энергии для пополнения общего энергетического баланса страны является императивом времени. Такой подход позволяет достичь устойчивого развития, сохраняя при этом окружающую среду. Водные и энергетические ресурсы необходимы для жизнедеятельности человека и подвержены регулярному экономическому, технологическому, демографическому и социальному воздействию [1]. По некоторым оценкам, 2–3 % мирового потребления электроэнергии приходится на системы водоснабжения (СВ) [2], и в 80–90 % случаев используются насосные агрегаты. Расходы на их обслуживание — в числе основных операционных затрат

СВ [2]. Концепция рационального и эффективного использования водных ресурсов и электроэнергии имеет стратегическое значение для устойчивого развития и смягчения последствий климатических изменений. Рациональному использованию воды и электроэнергии препятствуют слабая инфраструктура и устаревшие эксплуатационные процедуры. Это особенно актуально для развивающихся стран. Более того, в соответствии с Целями развития тысячелетия[1] возникает потребность в альтернативных решениях: ставится задача сократить вдвое число людей, не имеющих постоянного доступа к чистой воде и основным услугам в области санитарии. В качестве возобновляемых источников энергии предлагается ввести в эксплуатацию малые гидроэлектростанции (МГЭС) на участках сети водоснабжения с местным гидравлическим сопротивлением при условии полуоткрытых задвижек или регуляторов давления. Это экономически выгодно для производства электроэнергии и водоснабжения и прекрасно иллюстрирует рациональное использование водных ресурсов. В прошлые десятилетия гидроэлектроэнергетика была одним из главных источников получения энергии из воды. Сегодня водное хозяйство рассматривается как прямой потребитель электроэнергии, и это влияет на распределение водных ресурсов[2]. Активное потребление энергии напрямую влияет на состояние водных ресурсов в мире, что в свою очередь является причиной климатических изменений. Рациональное использование энергии должно способствовать обеспечению устойчивого развития за счет грамотного распределения энергетических ресурсов на всех этапах преобразования. Для комплексной оценки проблемы приводится пример сооружения МГЭС на водопроводе «Арзакан — Ереван».

Материалы и методы. Водопроводная ветка «Арзакан — Ереван» снабжает водой административные районы Еревана (Арабкир, Малатия-Себастия, Ачапняк, Эребуни) и прилегающие населенные пункты (Зовуни, Канакераван, Нор-Ачин, Нор- Гехи, Егвард и др.). Водопровод берет начало от источника Арзакан, а на территории административной общины Гетамедж разделяется на два водопровода с разными режимами давления. Рассматривается вопрос строительства МГЭС на одной из веток этого водопровода, питающего северо-западные и западные районы Еревана. Компания, работающая на разделительной ветке водопровода, установила полуоткрытую задвижку для регулировки расхода воды в системе. Так обеспечивается напор в водопроводе для населенных пунктов, расположенных выше основной магистрали (прилегают к городу Нор-Ачин). При полуоткрытой задвижке создается местное гидравлическое сопротивление около 13 м вод. ст. (до этого давление в водопроводной трубе — около 33 м вод. ст.).

Предлагается вместо полуоткрытой задвижки установить МГЭС, не нарушая нормальный гидравлический режим работы водопровода. На рис. 1 представлен план местности в программе Google Earth, а в таблице 1 сведены фактические значения, зафиксированные устройством непрерывной регистрации давления (логгер) в течение 12 часов.



Рис. 1. План местности в Google Earth

[1] Цели развития тысячелетия / Организация объединенных наций : [сайт]. — URL: https://www.un.org/development/desa/ru/millennium-development-goals.html (дата обращения: 05.06.2022).
[2] Mao Yushi, Sheng Hong., Yang Fuqiang. The true cost of coal. Understanding China's Energy Landscape. 2008. URL: https://www.understandchinaenergy.org/greenpeace-chinathe-china-sustainable-energy-programwwf-china-main-authors-mao-yushi-sheng-hong-yang-fuqiang-2010-the-true-cost-of-coal-full-report/ (accessed: 05.06.2022).

Таблица 1

Данные регистраторов давления, установленных на исследуемом участке

Дата исследования	Время	Зарегистрированное давление (м вод. ст.)	
		До полуоткрытой задвижки	После полуоткрытой задвижки
15.09.2020	20:00	32,8	13,0
15.09.2020	21:00	33,2	12,6
15.09.2020	22:00	33,3	13,0
15.09.2020	23:00	33,3	13,0
16.09.2020	00:00	33,5	12,8
16.09.2020	01:00	33,8	12,4
16.09.2020	02:00	33,9	13,2
16.09.2020	03:00	33,9	13,1
16.09.2020	04:00	33,9	13,6
16.09.2020	05:00	33,8	13,3
16.09.2020	06:00	33,8	13,2
16.09.2020	07:00	33,7	12,6
16.09.2020	08:00	33,4	13,0

Цель предложения — обеспечить преобразование искусственно созданного в локальном блоке сопротивления гидравлической энергии в электрическую. На месте строительства малой гидроэлектростанции (на ответвлении магистрального водопровода «Арзакан — Ереван») созданы благоприятные условия для комплексного использования водоэнергетического потенциала. Расход турбины на данном участке узла — 1,15 м^3/с (средний показатель в течение года). Регулирующее устройство на трубе обеспечивает заданный расход. В результате образуется перепад давления от 20,3 м вод. ст. до 21,4 м вод. ст. (таблица 1). Следует отметить целесообразность практического использования так называемой «скрытой» энергии, образующейся на участках магистральных водопроводов в Республике Армения. Гидроэнергетический потенциал систем водоснабжения известен давно, однако не изучен должным образом. В литературе подробно описаны возможности использования микротурбин для выработки электроэнергии в системах водоснабжения [3–5]. Самотечные системы в районах с высокими уклонами рельефа формируют значительные давления в водопроводных и распределительных сетях, создавая предпосылки для выработки гидроэлектроэнергии. Турбины, установленные на водораспределительных сетях, можно использовать и как системы контроля давления. Для этого задействуют редукционные клапаны PRV (от англ. pressure relief valve — клапан сброса давления), которые управляют потерями и утечками воды [6]. Они рассеивают энергию, таким образом снижая давление в системе. Что касается водяных турбин, они могут преобразовывать избыточное давление в электроэнергию[3]. Основные преимущества рекуперации гидравлической энергии в водопроводах, согласно Ф. Виейре и Х. М. Рамосу [3, 7], — повышение энергоэффективности системы за счет использования местных источников и снижение зависимости от внешней (сетевой) энергии. Кроме того, рекуперация гидравлической энергии способствует общему снижению эксплуатационных расходов. Ф. Виейра и Х. М. Рамос [3, 7] в своих исследованиях подчеркивают, что применение малых гидроэлектростанций в системах подачи воды значительно снижает стоимость их эксплуатации. Это объясняется тем, что предлагаемое решение позволяет заменить регулирующий клапан на равную по гидравлическому сопротивлению гидротурбину. В таблице 2 приведены расходы воды в системе (указаны усредненные по месяцу показатели).

Таблица 2

Расход воды в гидротурбинном агрегате

Месяц	Расход, м^3/сек		
Январь	1,20	Июль	1,30
Февраль	1,10	Август	1,30
Март	1,10	Сентябрь	1,05
Апрель	1,00	Октябрь	1,05
Май	1,10	Ноябрь	1,10
Июнь	1,30	Декабрь	1,20

[3] The Millennium Development Goals Report 2011. United Nations. New York, 2011. URL: https://www.un.org/millenniumgoals/pdf/(2011_E)%20MDG%20Report%202011_Book%20LR.pdf (accessed: 05.06.2022).

Учтем, что максимальный напор — Hmax = 21,4 м, минимальный — Hmin = 20,3 м.

Среднегодовой расход, согласно табл. 2: Q = 1,15 м³/с.

При расчетном напоре, равном H = 20 м, мощность потока у входа турбины [8]:

$$N = \rho qQH = 1000 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}15 \cdot 20 = 225632 \text{ Вт} \approx 225 \text{ кВт}.$$

Принципы выбора гидротурбины. При малом напоре и большем расходе (для МГЭС) следует выбрать турбину с большим коэффициентом быстроходности. Из реактивных турбин подойдет осевая. Из активных турбин малой мощности для пропуска относительно большого расхода следовало бы выбрать турбину Банки. Однако в данном случае недопустимо задействовать активную турбину, так как при ее наполнении у выхода формируется избыточное давление, и турбина Банки работает как очень плохая реактивная турбина с очень низкими энергетическими показателями.

Рекомендуется установить гидротурбинный агрегат у задвижки на обходной линии. Входные и выходные задвижки обеспечат бесперебойную работу магистрали даже в случае отключения станции. Функционирование МГЭС будут контролировать датчики давления, установленные у входа и выхода турбины. Так обеспечивается требуемое давление на магистрали[4]. При установке оборудования на магистрали питьевого водоснабжения следует учитывать особые требования [8−10]. В частности, нужно исключить загрязнение воды смазочными маслами и иными материалами[5, 6]. В целом же распределяемая вода должна соответствовать количественным и качественным нормам питьевого, бытового и промышленного потребления [11].

Энергетические показатели МГЭС. Для разных элементов гидротурбинной установки применены следующие средние значения КПД: $\eta_m = 0{,}86$, $\eta_{ген} = 0{,}94$.

Мощность на валу турбины: $N_z = \eta_z N = 0{,}86 \cdot 225 = 193{,}5$ кВт, а на выходе генератора: $N_{ген} = \eta_{ген} N_z = 0{,}94 \cdot 193{,}5 = 184$ кВт.

В таблице 3 представлены усредненные параметры мощности МГЭС и соответствующие им показатели среднемесячной выработки электроэнергии.

Таблица 3

Среднемесячная мощность и выработка МГЭС

Месяц	Мощность, кВт	Выработка, кВт·час
Январь	190	141360
Февраль	174	116930
Март	174	129456
Апрель	158	113760
Май	174	113456
Июнь	206	148320
Июль	206	153264
Август	206	153264
Сентябрь	166	119520
Октябрь	166	123504
Ноябрь	174	125280
Декабрь	190	141360
	Итого	1 573 474

Следует отметить, что использование реактивной турбины МГЭС при большой отрицательной высоте отсасывания ($h_S = -13$ м), на взгляд авторов, в мировой практике предлагается впервые. В данном случае, с одной стороны, исключено возникновение кавитации [9, 12], что, безусловно, расценивается положительно. С

[4] Маркарян А. Я., Токмаджян В. О. Регулирование производительности насосов с целью предотвращения кавитационных явлений // Вода: экология и технология : сб. докладов 7-го междунар. конгресса. М., 2006. Ч. 1. С. 566.

[5] Sanitarakan Kanonner yev Normer N2-III-A2-1, Khmelu jur: Jramatakararman kentronats'vats hamakargeri jri vorakin nerkayats'vogh higiyenik pahanjner, Voraki hskoghut'yun, Yerevan, 2002t, ej 11 [Санитарные правила и нормы N2-III-A2-1, Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем водоснабжения, Контроль качества. Ереван, 2002. Стр. 11. На арм. яз.].

[6] Barry, J. A. Watergy: Energy and Water Efficiency in Municipal Water Supply and Wastewater Treatment Cost-Effective Savings of Water and Energy. The Alliance to Save Energy. Washington, 2007. 44 p.

другой стороны, неизвестно как влияет на КПД большое давление на выходе из турбины, поэтому в расчетах авторов данной статьи применен несколько заниженный показатель.

Результаты исследования. Произведенную МГЭС электроэнергию (таблица 3) планируется поставлять в общую энергосистему Республики Армения на условиях гарантированной покупки по ценам, утвержденным Комиссией по регулированию общественных услуг Армении (в настоящее время действует тариф 10,579 драмов за кВт·час).

Согласно данным таблицы 3, в течение года МГЭС произведет не менее 1,5 млн кВт·час. По предварительным расчетам, срок строительства МГЭС — 24 месяца, а срок эксплуатации — 30 лет. Стоимость строительства и проектирования МГЭС составит 60,4 млн драмов (таблица 4).

Таблица 4

Затраты на строительство МГЭС

Работы	Стоимость, млн драмов РА
Строительство / обслуживание трубопровода	2,2
Строительство здания ГЭС	14,5
Стоимость установки гидроагрегатов (гидротурбины, генераторы)	18,0
Трансформаторная подстанция	10,7
Строительство ЛЭП высокого напряжения	3,0
Проектно-расчетные работы	7,0
Иные затраты	5,0
Итог	60,4

Прогнозируемые доходы, эксплуатационные расходы и прибыль представлены в таблице 5.

Таблица 5

Прогноз годовых финансовых показателей

Показатель	Сумма, млн драмов РА
Валовой доход	15,9
Заработная плата, операционные расходы, текущий ремонт и ликвидация аварий	7,0
Пошлины и прочие обязательные платежи	0,2
Амортизационные траты (с учетом 30-летней эксплуатации)	2,0
Иные затраты	0,2
Прибыль до уплаты налога на прибыль	7,4
Налог на прибыль	1,5
Чистая прибыль	5,9

Данные о годовых расходах, представленные в таблице 5, основаны на действующих нормативно-правовых актах Республики Армения. Согласно этим документам, налог на добавленную стоимость и налог на прибыль составляет 20 %[7], а налог на имущество — 0,6 % (от остаточной стоимости). На основе данных о строительстве и текущих операционных расходах МГЭС в таблице 6 приведены основные показатели финансовой эффективности.

Таблица 6

Показатели финансовой эффективности

Показатель	Ед. изм.	Значение
Внутренняя норма доходности	%	10,4
Срок окупаемости	лет	9,0

[7] Hayastani Hanrapetut'yan Harkayin orensgirk', HO-165-N, yndunvats 2016 t'vakani hoktemberi 4-in [Налоговый Кодекс Республики Армения, ЗА-165-Н. Принят 4 октября 2016 года. На арм. яз.].

Обсуждение и заключения. Из-за гористого рельефа на большей территории Республики Армения для регулировки давления в водопроводной сети часто создают местное сопротивление. Как правило, речь идет о полуоткрытых клапанах и установке оборудования для регулировки давления. Оснащение узлов сети специально разработанными турбинами позволит преобразовать искусственно созданную местным сопротивлением и погашенную механическую энергию в электрическую. Следует отметить, что только в системе водопроводной сети Еревана установлено более 300 полуоткрытых задвижек и оборудования для регулировки давления. Многим из них требуется замена. На ремонтируемых участках можно применить решения, предложенные в данной статье.

Список литературы

1. Карл-Ульрих, Р. Водный сектор в Германии, Методы и опыт / Р. Карл-Ульрих. — Берлин-Бонн-Виттен : Федеральное Министерство окружающей среды, охраны природы и безопасности реакторов, Федеральное ведомство охраны окружающей среды на благо человека и окружающей среды, 2001. — С. 151.

2. Energy audit of water networks / E. Cabrera, M. A. Pardo, R. Cobacho, E. Cabrera Jr. // Journal of Water Resources Planning and Management. — 2010. — Vol. 136. — P. 669–677. https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000077

3. Ramos, J. S. Sustainable application of renewable sources in water pumping systems: Optimized energy system configuration / J. S. Ramos, H. M. Ramos // Energy Policy. — 2009. — Vol. 37. — P. 633–643. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.10.006

4. Гальперин, Е. М. Надежность систем водоснабжения и водоотведения / Е. М. Гальперин, В. И. Полуян, В. Н. Чувилин // Водоснабжение и санитарная техника. — 2006. —№ 9–2. — С. 38–42.

5. Давыдов, А. Б. Обеспечение надежности водопроводной сети / А. Б. Давыдов, В. И. Булыгин, М. Ю. Радецкий // Водоснабжение и санитарная техника. — 2004. — № 3. — С. 6–8.

6. Fontana, N. Losses reduction and energy production in water-distribution networks / N. Fontana, M. Giugni, D. Portolano // Journal of Water Resources Planning and Management. — 2012. — Vol. 138. — P. 237–244.

7. Vieira, F. Hybrid solution and pump-storage optimization in water supply system efficiency: A case study / F. Vieira, H. M. Ramos // Energy Policy. — 2008. — Vol. 36. — P. 4142–4148. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.07.040.

8. Богомолов, А. И. Гидравлика / А. И. Богомолов, К. А. Михайлов. — Москва : Стройиздат, 1972. — 648 с.

9. Ловкис, З. В. Гидравлика / З. В. Ловкис. — Минск : Беларусская навука, 2012. — 439 с.

10. Ландау, Ю. Гидроэнергетика и окружающая среда / Ю. Ландау, Л. Сиренко. — Киев : Либра, 2004. — 484 с.

11. Energy efficiency in the European water industry: learning from best practices / J. Frijns, R. Middleton, C. Uijterlinde, G. Wheale // Journal of Water and Climate Change. — 2012. — Vol. 3. — P. 11–17. https://doi.org/10.2166/wcc.2012.068.

12. Викулин, П. Д. Гидравлика систем водоснабжения и водоотведения / П. Д. Викулин, В. Б. Викулина. — Москва : МГСУ, 2014. — 248 с.

Поступила в редакцию 04.05.2022

Поступила после рецензирования 07.06.2022

Принята к публикации 07.06.2022

Об авторах:

Саакян Арам Ашотович, декан строительного факультета Национального университета архитектуры и строительства Армении (0009, РА, г. Ереван, ул. Теряна, 105, корп. 2), кандидат технических наук, ORCID, sahakyan.aram@nuaca.am.

Бутко Денис Александрович, заведующий кафедрой «Водоснабжение и водоотведение» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ScopusID, ORCID, den_111@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

А. А. Саакян — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, проведение расчетов, подготовка текста, формирование выводов; Д. А. Бутко — анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.